

НАУЧНАЯ ШКОЛА КАФЕДРЫ

«РОБОТОТЕХНИКА И МЕХАТРОНИКА»

Основателем научной школы кафедры робототехники и мехатроники является доктор технических наук, профессор Владимир Сергеевич Кулешов — первый заведующий кафедрой с 1981 по 2000 год.

В.С. Кулешов в 1961 году окончил МВТУ имени Н.Э. Баумана. Доктор технических наук (1974), профессор (1976), заслуженный деятель науки и техники РФ, академик Международной академии информатизации и Академии наук высшей школы России, проректор Станкина по научной работе (1987–1988). Первой в нашей стране докторской диссертацией по новой научной специальности «Роботы и манипуляторы» стала его работа «Основы теории и проектирования систем двустороннего действия копирующих манипуляторов» (1974). В октябре 1981 года В.С. Кулешов был командирован в Московский станкоинструментальный институт, где основал новую кафедру «Промышленные роботы и робототехнические системы». Им

издано более 150 научных работ, включая 6 монографий, под руководством В.С. Кулешова его учениками успешно защищено более 20 диссертационных работ.

Среди научных достижений профессора В.С. Кулешова можно выделить три ключевых направления, которые определили линии научно-технического становления и последующего развития кафедры в 80–90-е годы XX века:

- исследование и проектирование систем двустороннего действия для манипуляционных роботов с дистанционно-автоматическим управлением;
- разработка и применение промышленных роботов и робототехнических комплексов для гибких производственных систем;
- формирование методологии мехатроники как нового направления современной науки и техники и принципов построения мехатронных устройств и систем.



*Д-р техн. наук, профессор
В.С. КУЛЕШОВ*

Научное направление по разработке систем двустороннего действия (ДСД) возникло в СССР в начале 70-х годов прошлого века в связи с созданием в нашей стране роботов, выполняющих операции в экстремальных средах (космические и подводные работы, операции при обслуживании атомных электростанций, работы с опасными и радиоактивными объектами). Дистанционно управляемый робот, по сути, выполняет функции руки человека на расстоянии.

Для этой цели системы управления должны иметь обратный тракт отражения усилия, который однозначно или в некотором масштабе имитирует нагрузки, действующие на исполнительный орган... Такие системы позволяют создавать «эффект присутствия» для оператора и приводят к еще

большей естественности его работы.

(В.С. Кулешов, из книги «Динамика систем управления манипуляторами», 1971).

В 80-е годы под руководством профессора В.С. Кулешова проводятся научно-исследовательские работы по проектированию промышленных роботов с дистанционно-автоматическим управлением и их применению в составе робототехнологических комплексов для выполнения операций в недетерминированных условиях.

В подобных условиях и ситуациях невозможно заранее запрограммировать все действия и движения исполнительного механизма робота... Очевидно, более рациональным является использование принципов дистанционно-автоматического

*Основные научные труды
профессора В.С. Кулешова:
«Динамика систем управления
манипуляторами» (1971),
«Проектирование следящих систем
двустороннего действия» (1980),
«Дистанционно управляемые роботы
и манипуляторы» (1986),
«Remotely Controlled Robots and Manipulators»
(на английском языке, 1988)*



управления роботами и манипуляторами, т.е. обеспечить подключение естественного интеллекта человека-оператора на верхнем уровне управления робота.

(В.С. Кулешов, из предисловия к книге «Дистанционно управляемые роботы и манипуляторы», 1986).

Разработанные на кафедре принципы и методы дистанционно-автоматического управления роботами были опубликованы в трудах ряда всесоюзных и международных конференций, а второе издание книги под ред. В.С. Кулешова выпущено изд-вом «Мир» на английском языке.

В настоящее время интерес исследователей к методам дистанционно-автоматического управления роботами резко возрос. Он обусловлен появлением новых областей, где требуется эффективное применение роботов: среды радиоактивного загрязнения, манипулирование с взрывоопасными объектами при проведении антитеррористических действий, роботизированные операции в медицине и биотехнологии.

Научно-техническое направление по созданию промышленных роботов и робототехнических комплексов для гибких производственных систем стало определяющим для развития кафедры в 80-е годы прошлого века. Это вызвано тем, что создание отечественной промышленной робототехники стало

в эти годы важнейшей государственной задачей, поставленной перед машиностроительными отраслями страны, техническими вузами и АН СССР.

В этот период кафедра ведет в Мосстанкине подготовку специалистов по промышленной робототехнике и выполняет ряд научно-исследовательских и прикладных работ с ведущими предприятиями и организациями: Центральным научно-исследовательским технологическим институтом (ЦНИТИ), ЭНИМС, Автозаводом имени Ленинского комсомола (АЗЛК), СПО «Красный пролетарий», НПО «Гранат» (Минск), НПО «Электроника», НИПКИ «Терминал» (Ленинград), Межотраслевым научно-техническим комплексом МНТК «Робот».

Научно-учебные работы по роботизации производства ведутся по следующим направлениям:

- исполнительные системы и приводы роботов (профессор Ю.В. Илюхин, доцент А.И. Сафонов, старший преподаватель С.М. Чиликин);
- электронные и информационные системы роботов (профессор В.А. Клевалин, доцент М.М. Стебулянин, доцент И.И. Дунин-Барковский);
- проектирование промышленных роботов и робототехнологических комплексов (доцент А.П. Лукинов, доцент О.Д. Егоров, доцент В.А. Игнатъев, профессор В.Л. Афонин);
- системы управления и микропроцессорные устройства промышленных роботов (доцент И.В. Медведев, доцент В.С. Горбачев, старший преподаватель О.Д. Полубояринов, научный сотрудник П.И. Сыч).

Формирование терминологии, принципов и методологии мехатроники как нового направления современной науки и техники стало важнейшим достижением научной школы кафедры в 90-х годах XX века. Именно профессор В.С. Кулешов стал инициатором открытия новой инженерной специальности «Мехатроника». Специальность «Мехатроника» впервые была включена в классификатор образовательных направлений в середине 90-х годов, причем как специальность междисциплинарного профиля. Рабочая группа экспертов во главе с В.С. Кулешовым предложила следующее определение мехатроники, которое затем было утверждено в Государственном образовательном стандарте (1995):

Мехатроника — это новая область науки и техники, посвященная созданию и эксплуатации машин и систем с компьютерным управлением движением, которая базируется на знаниях в области механики, электроники и микропроцессорной техники, информатики и компьютерного управления движением машин и агрегатов.

В данном определении особо подчеркнута триединая сущность мехатронных систем (МС), в основу построения которых заложена идея глубокой взаимосвязи механических, электронных и компьютерных элементов. Применение мехатронного подхода при создании машин с компьютерным управлением определяет их основные преимущества по сравнению



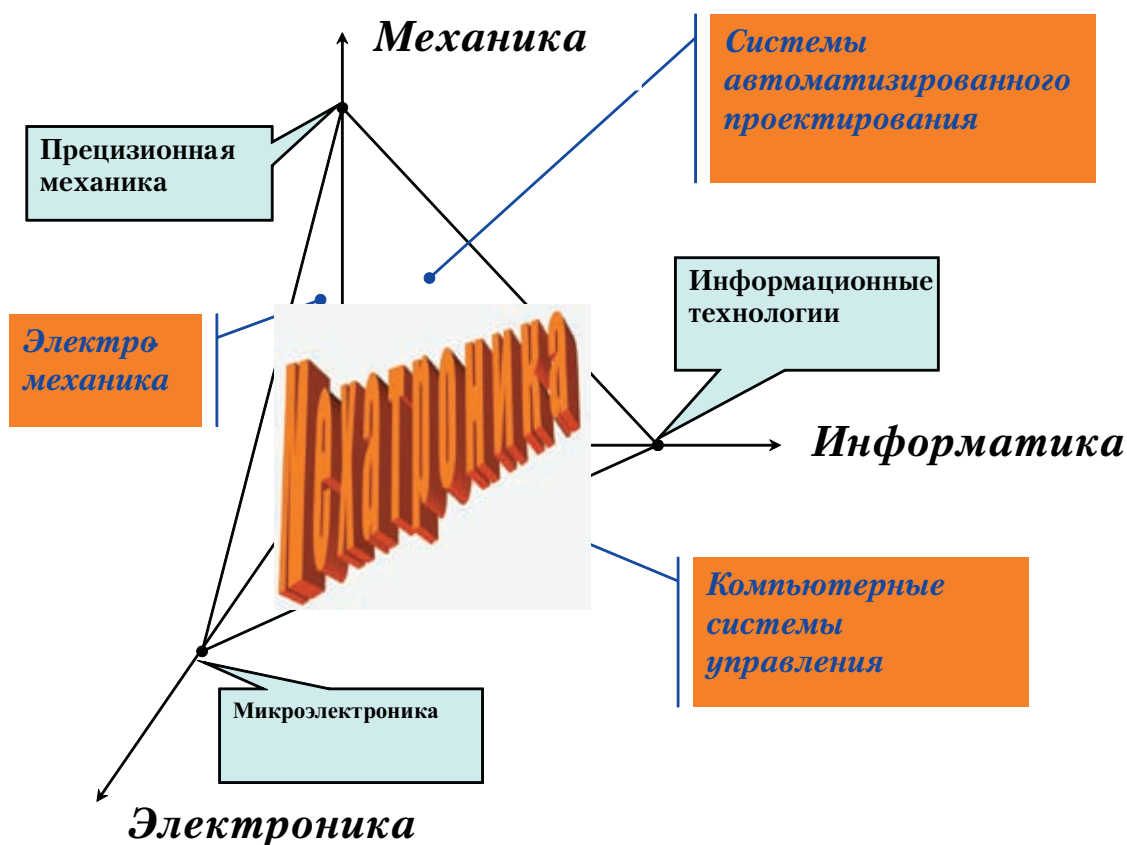
*Зав. кафедрой, д-р техн. наук, профессор
Ю.В. ПОДУРАЕВ*

с традиционными средствами автоматизации. К ним следует отнести относительно низкую стоимость благодаря высокой степени интеграции и унификации элементов и интерфейсов; высокое качество реализации сложных и точных движений вследствие применения методов адаптивного и интеллектуального управления; высокую надежность, долговечность и помехозащищенность; конструктивную компактность вплоть до миниатюризации модулей; улучшенные массогабаритные и динамические характеристики машин вследствие упрощения кинематических цепей; возможность комплексирования функциональных модулей в комплексы под конкретные задачи заказчика.

Затем решением ВАК РФ термин «Мехатроника» введен в название научной специальности «Роботы, мехатроника и робототехнические системы» (прежнее название «Роботы,

манипуляторы и робототехнические системы»). Профессор В.С. Кулешов был одним из активных инициаторов организации научно-технического журнала «Мехатроника» и со дня его основания входил в состав редакционного совета.

С ноября 2000 года кафедрой заведует доктор технических наук, профессор Ю.В. Подураев. Окончил МВТУ имени Н.Э.Баумана по специальности «Автоматические приводы» (1979). Доктор технических наук (1993), профессор (1995), почетный деятель науки и техники города Москвы (2006). В МГТУ «Станкин» работает с 1981 года, прошел профессиональный путь от ассистента до заведующего кафедрой и проректора по учебной работе университета. Председатель учебно-методической комиссии по специальности «Мехатроника» УМО вузов по университетскому политехническому образованию.



Пирамида мехатроники

Монография профессора Ю.В. Подураева «Мехатроника: основы, методы, применение» (изд-во «Машиностроение», 1-е издание — 2006, 2-е издание — 2007) стала одним из первых научно-методических трудов по мехатронике, опубликованных в нашей стране для специалистов, преподавателей и студентов вузов.

Развитие научной школы кафедры в 2000-х годах сосредоточено на системных проблемах мехатроники, разработке новых методов построения и управления роботами, создании робототехнических и мехатронных систем

нового поколения на базе современных мехатронных технологий.

Начиная с 2002 года мехатронные технологии включены в число критических технологий РФ, которые определяют важнейшие характеристики нового поколения машин и оборудования во всех областях техники. Рабочей группой по разработке Государственного образовательного стандарта высшего профессионального образования по направлению подготовки «Мехатроника и робототехника» (руководитель профессор Ю.В. Подураев) дано следующее определение мехатроники:



Профессора В.А. Клевалин и В.С. Кулешов

Мехатроника — это область науки и техники, основанная на синергетическом объединении узлов точной механики с электронными, электротехническими и компьютерными компонентами, обеспечивающая проектирование и производство качественно новых модулей, систем и машин с интеллектуальным управлением их функциональными движениями.

Фундаментальные научные проблемы современного развития научной школы кафедры в области мехатроники как междисциплинарной области науки и техники связаны с интеграцией знаний из таких ранее обособленных областей, как прецизионная механика и компьютерное управление

движением, информационные технологии и микроэлектроника.

Актуальной научно-технической задачей является создание интеллектуальных машин и движущихся систем, которые обладают качественно новыми функциями и свойствами. Научной основой развиваемых подходов и методов решения поставленной проблемы является синергетическая интеграция структурных элементов и технологий, энергетических и информационных процессов на всех этапах жизненного цикла мехатронных систем, начиная со стадии концептуального проектирования и заканчивая производством и эксплуатацией.

Определяющими для научного развития кафедры стали следующие научно-технические направления, по которым ведется в последние годы

подготовка диссертационных работ аспирантами и докторантами:

- создание мехатронных технологических систем, компьютерных систем управления и высокоточных приводов (научная группа Ю.В. Илюхина);
- системы технического зрения в робототехнике и мехатронике (научная группа доктора технических наук, профессора В.А. Клевалина и кандидата технических наук, доцента А.Ю. Поливанова);
- повышение автономности мобильных технологических роботов на основе иерархического комплексирования сенсорных данных (научная группа кандидата технических наук, доцента И.Л. Ермолова);
- автоматизированное проектирование робототехнических комплексов и конструирование мехатронных модулей на основе методов математического и компьютерного моделирования и оптимизации (научные группы под руководством кандидата технических наук, доцента О.Д. Егорова, кандидата технических наук, доцента А.П. Лукинова);
- исследование устойчивости движения многосвязных мехатронных систем с параметрической неопределенностью (научная группа под руководством кандидата технических наук, доцента М.М. Стебулянина).

Доктор технических наук, профессор Ю.В. Илюхин работает в МГТУ «Станкин» с 1986 года. Научная группа Ю.В. Илюхина ведет исследования и разработки робототехнических и мехатронных систем,

электромеханических и электропневматических приводов, средств автоматизации на их основе.

В докторской диссертации Ю.В. Илюхина «Создание высокоэффективных систем управления исполнительными движениями роботов и мехатронных устройств на основе технологически обусловленного метода синтеза» даны новые принципы и методы построения мехатронных систем в области робототехники и систем автоматизации технологических процессов. Принципиальной особенностью данного исследования явилось выявление и формализация взаимосвязей между технологическими операциями, требованиями к исполнительным движениям технологических машин, факторами, влияющими на их качество, и структурно-параметрическими особенностями компьютерных систем управления движением. Разработанные принципы и методы мехатронного подхода дали возможность создавать высокоэффективные системы компьютерного управления роботами и мехатронными устройствами, обладающие точностью, производительностью и уровнем технической сложности, адекватными реализуемым технологическим операциям.

В развитие этого направления исследований под руководством Ю.В. Илюхина защищены четыре кандидатские диссертации. Первой была работа Д.А. Игнатова, в которой решена задача повышения качества дистанционно-автоматического управления технологическим роботом, выполняющим операцию зачистки заусенцев на деталях, полученных путем литья. В данном исследовании подробно рассмотрены

математические модели процессов взаимодействия робота с объектом обработки и вопросы построения системы управления.

А.С. Зарудневым выполнено исследование на тему «Повышение производительности мехатронных систем лазерной обработки на основе взаимосвязей контурной точности с программными параметрами движения и динамическими свойствами приводов». Внедрение результатов диссертации в ООО «Лантан-лазер» позволило повысить производительность процессов лазерной резки на 30% при соблюдении технологических ограничений и требований к контурной точности движения.

О.В. Афанасьева защитила диссертацию на тему «Повышение качества мехатронных систем управления климатическим комфортом мультizonного рабочего пространства на основе инверсных моделей». Впервые дано решение в области построения многокомпонентной системы управления микроклиматом как нелинейной мехатронной системы высокой размерности. Особенностью выполненного исследования является организация управления не фазовыми переменными системы, а обобщенными показателями комфорта, наиболее точно отражающими восприятие климатического комфорта человеком, представляющим собой компонент рассматриваемой мехатронной системы.

А.Н. Харченко выполнил исследование на тему «Повышение точности и быстродействия промышленных мехатронных электропневматических следящих приводов на основе аппаратной и программной интеграции

мехатронных компонентов». Внедрение результатов исследования в ООО «Камоцци Пневматика» подтвердило повышение в несколько раз точности и быстродействия привода, удовлетворяющего жестким требованиям промышленного применения, за счет использования принципов и методов мехатроники.

Научная группа Ю.В. Илюхина активно ведет исследования в области создания прецизионных электромеханических и электропневматических приводов, систем управления роботами и технологическими установками для лазерной резки и сварки, мобильных роботов, оснащенных гибридными приводными установками на основе электроприводов и двигателей внутреннего сгорания, систем полунатурного моделирования и компьютерного проектирования робототехнических и мехатронных систем.

Доктор технических наук, профессор, старший научный сотрудник В.А. Клевалин работает в МГТУ «Станкин» с декабря 1978 года. На кафедре «Промышленные роботы и робототехнические системы» работает со дня ее образования, принимал активное участие в ее образовании, становлении и развитии.

Научная группа профессора В.А. Клевалина ведет научно-технические исследования по следующей тематике:

- разработка и исследование систем технического зрения различного технологического назначения;
- разработка и исследование систем управления адаптивных роботов с системой технического зрения;
- цифровые методы распознавания типовых деталей машиностроения.

Принципы построения и функционирования систем технического зрения (СТЗ) в промышленной робототехнике были сформулированы в 80–90-х годах XX века и практически апробированы на производственных участках сборки, механообработки, складирования деталей. В докторской диссертации В.А. Клевалина «Очувствление робототехнических систем и комплексов на основе систем технического зрения в автоматизированном машиностроении» (1992) разработан системный подход к разработке структуры технических средств СТЗ с учетом технологических требований робототехнологических комплексов. При этом отрабатывались алгоритмы программы распознавания и управления при различных масштабах изображения при использовании метода сопоставления с прототипом. По результатам этих работ защищены три кандидатские диссертации, одна из них — иностранным аспирантом. Техническая документация была передана в НПО «Красный пролетарий», Институт сельхозмашиностроения (Ростов-на-Дону), Красноярский политехнический институт, Саратовский политехнический институт, ВМЭИ имени Ленина (София, Болгария).

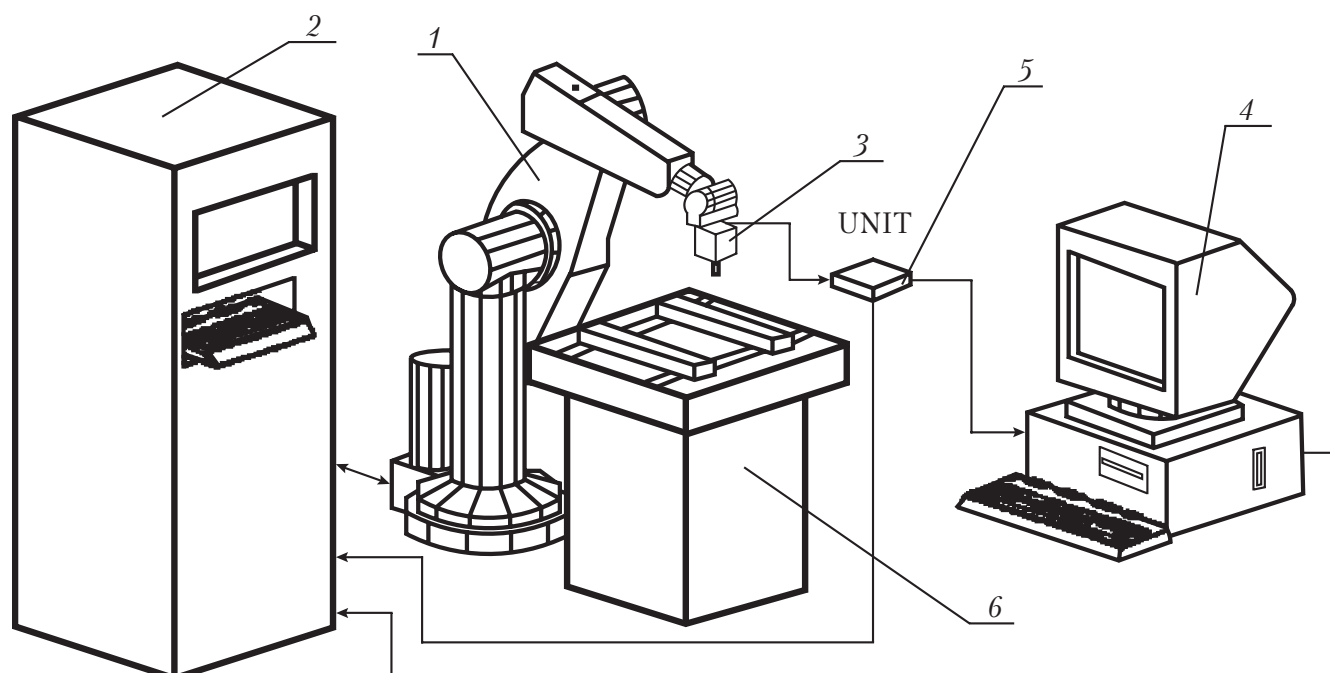
В настоящее время кафедра активно участвует в работе научно-образовательных центров в области машиностроения, робототехники и мехатроники с ведущими институтами РАН: Институтом машиноведения имени А.А. Благонравова (ИМАШ РАН), Институтом проблем механики имени А.Ю. Ишлинского (ИПМех РАН), Институтом прикладной математики имени М.В. Келдыша (ИПМ

РАН). На кафедре созданы совместные лаборатории с профильными предприятиями (KUKA GmbH и ЗАО «Сервотехника»), оснащенные современным робототехническим и мехатронным оборудованием.

Образовательная и исследовательская деятельность научной школы кафедры начиная с 90-х годов тесно переплетались благодаря активной деятельности международного учебно-научного центра «Мехатроника» (научный руководитель центра с российской стороны — доктор технических наук, профессор В.С. Кулешов, научный руководитель с венгерской стороны — профессор Я. Шомло, директор центра — кандидат технических наук, доцент И.В. Медведев). За большой вклад в развитие научного сотрудничества между нашими университетами венгерским ученым Я. Шомло и М. Хорвату присвоены звания почетных профессоров МГТУ «Станкин».

В рамках центра «Мехатроника» выполнен ряд российско-венгерских научно-технических проектов, по результатам которых успешно защищены кандидатские диссертации в МГТУ «Станкин» и Будапештском техническом университете:

- «Открытая система управления роботами и мехатронными модулями, реализованная на базе системы программирования LabView» (профессор В.С. Кулешов, кандидат технических наук К.Р. Карлов);
- «Реализация оптимальных по быстродействию законов контурного движения роботов с кинематической избыточностью на базе системы программирования LabView» (профессор В.С. Кулешов, про-



Робототехнологический комплекс механообработки
на базе робота РМ-01:

- 1 – манипулятор PUMA-560,
2 – устройство управления «Сфера-36»,
3 – рабочий орган,
4 – компьютер верхнего уровня управления,
5 – устройство силомоментного оцувствления,
6 – технологический стол

фессор Ю.В. Подураев, кандидат технических наук А.Г. Соколов, кандидат технических наук А.А. Кожохару);

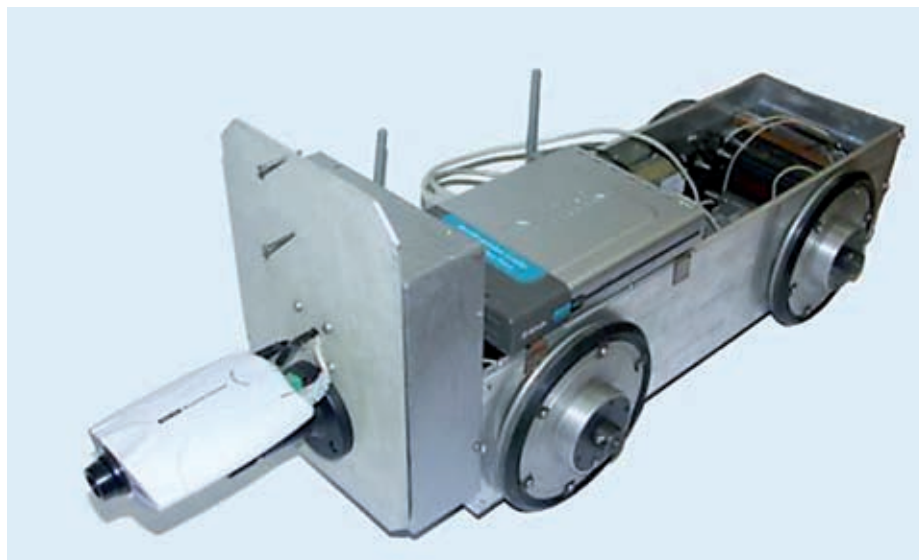
- «Проектирование системы силового управления промышленными роботами для операций зачистки фасонных профилей» (профессор В.С. Кулешов, профессор Ю.В. Подураев, кандидат технических наук В.П. Саунин).

Примером российско-венгерского прикладного проекта является создание робототехнического комплекса механообработки с адаптивным управлением (разработчики профессор

Ю.В. Подураев, доцент В.П. Саунин, научный сотрудник П.И. Сыч).

Робототехнологический комплекс (РТК) предназначен для выполнения операций механообработки деталей из пластмасс и легких сплавов. К числу типичных операций относятся зачистка заусенцев, шлифование сложных поверхностей, сверление отверстий, снятие фасок. Программирование движений технологического робота проводится с помощью специально разработанного комплекса подготовки управляющих программ.

Разработанное математическое и программное обеспечение позволило



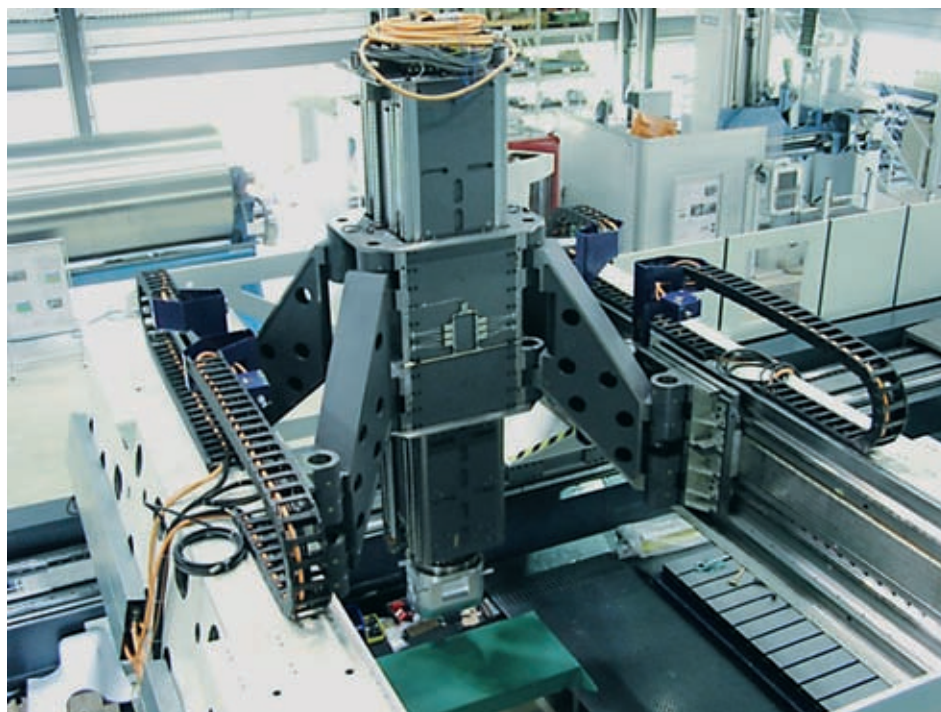
*Макетный образец
мобильного инспекционного робота ИРИС-2*

формировать величину контурной скорости движения рабочего органа на основе значения действующей силы резания. Адаптивный метод управления позволяет достичь максимальной производительности операции при учете фактических энергетических и силовых ограничений.

В конце 90-х — начале 2000-х годов научно-исследовательские коллективы кафедры приняли активное участие в международных проектах с европейскими партнерами из Великобритании, Греции и Болгарии. Среди указанных проектов можно отметить следующие научно-исследовательские работы:

- проект АМЕТМАС-NOE — European Scientific Network по созданию научно-исследовательской сети в рамках европейской программы ИНКО-КОПЕРНИКУС (профессор Ю.В. Подураев, доцент И.Л. Ермолов);
- проект «MS-TTC: Центры трансфера технологий в Москве и Софии» в рамках европейской программы ИНКО-КОПЕРНИКУС (профессор Ю.В. Подураев, доцент И.Л. Ермолов);
- совместные проекты с Де Монфортским университетом (Великобритания) в рамках исследовательских программ Британской академии (The Royal Society) по созданию интеллектуальных роботов для выполнения инспекционных и технологических операций в трубопроводах (профессор Ю.В. Подураев, доцент И.Л. Ермолов совместно с НПО «ТАРИС», руководитель работ с британской стороны — профессор Ф.Р. Мор).

В 2006 году в МГТУ «Станкин» на базе кафедры открыт российско-германский технологический центр коллективного пользования «КУКА-Станкин». Данный центр действует на



«Динопод»

основании международного договора между МГТУ «Станкин» и одним из мировых лидеров в области промышленной робототехники — компанией KUKA Roboter (Германия).

Основными задачами центра являются проведение образовательных программ для студентов и специалистов, выполнение научно-исследовательской и производственной деятельности на предприятиях по роботизации сложных технологических процессов.

В рамках договора о научно-техническом сотрудничестве между МГТУ «Станкин» и Техническим университетом (г. Хемниц, Германия) сотрудники кафедры участвовали в реализации ряда российско-германских научно-технических работ и провели несколько совместных научно-практических семинаров и выставок.

Примером такого сотрудничества может служить разработка математического и программного обеспечения системы управления многокоординатного мехатронного центра с гибридной кинематической структурой типа «ножницы» (руководители проекта профессор Р. Нойгебауэр, доктор К. Харцбеккер, профессор Ю.В. Подураев и инженер А.В. Логинов).

Центр «Динопод», разработанный Фраунhoferским институтом станков и обработки давлением (г. Хемниц, Германия), является пятикоординатным фрезерным многоцелевым центром, предназначенным для обработки больших размеров деталей в автомобильной промышленности.

В 2010 году кафедрой завершены работы по европейскому проекту HISMAR (Hull Identification System

for Marine Autonomous Roboties) по разработке многофункционального робота для очистки бортов морских судов. Проект выполнялся в рамках 6-й Европейской программы по исследованиям и технологическому развитию (The 6th Framework European Program on Research, Technological Development and Demonstration). Робот разработан для выполнения специальных задач, таких как мониторинг состояния судового корпуса и очистки водяной струей корпуса от

морского обрастания. Он имеет оборудование для идентификации и навигации с использованием оптических и магнитных средств. Проект выполнялся сотрудниками кафедры (доцент И.Л. Ермолов, инженер В.С. Балашов, инженер Б.А. Громов) в составе международной исследовательской группы. В состав исследовательской группы входили представители ряда европейских университетов и фирм (координатор проекта — университет Ньюкасла, Великобритания).